

Software para el reconocimiento de objetos sumergidos fabricados por el hombre basado en el procesamiento de imagen procedente de un sonar de barrido lateral de simple haz

José M^a Zamanillo Sainz de la Maza ⁽¹⁾, Manuel Solana Salas ⁽¹⁾, J. González Calderón ⁽¹⁾, Isabel Zamanillo Sainz de la Maza ⁽²⁾, Elías Revestido Herrero ⁽²⁾, Francisco J. Velasco Gonzalez ⁽²⁾.
jose.zamanillo@unican.es, manuel.solana@alumnos.unican.es, sil_ver55@hotmail.com,
isabel.zamanilloB@unican.es, elias.revestido@unican.es, franciscojesus.velasco@unican.es.

⁽¹⁾ Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones (DICOM). Universidad de Cantabria. Edificio I+D+i Telecomunicación, Plaza de la Ciencia s/n. 39005 Santander (Cantabria).

⁽²⁾ Dpto. de Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas y Automática (TEISA). Universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Náutica C/Gamazo nº 1 39004 Santander (Cantabria).

Abstract- Digital processing of sidescan sonar images significantly enhances the performance in recognition of seafloor features and underwater artifacts. These images are usually poor in its resolution compared with optical captured frames. There are different commercial solutions that can solve this problem, like using a high resolution multibeam sidescan sonar, or using a bathymetric sonar device. Present work shows an economical solution to avoid this kind of problem employing digital image processing techniques under MATLAB environment. The application presented here has been developed under user friendly philosophy, i.e., it is easy to manipulate and it can be operated for users at any level. Two types of sonar surveys: seafloor mapping and submerged target searches (buried or not), require different processing methods for data analysis that are implemented in the software. This program is an updated version of the previous one [1-4]. An important improvement is the semi-automatic recognition of man-made submerged objects.

I. INTRODUCCIÓN

Las imágenes que se obtienen a partir de sonares de barrido lateral de simple haz con el fin de inspeccionar el fondo marino, a menudo contienen grandes cantidades de ruido, ocultando detalles significativos y distorsionando otros. Una posible solución sería disponer de un equipo dotado con un sonar multihaz capaz de proporcionar imágenes de alta resolución a costa de barridos muy lentos, pero su alto precio limita su utilización a ciertos sectores como son el petrolífero o el militar. Por todo ello, es necesario efectuar un post-procesado de dichas imágenes, con el fin de reducir ese ruido y de resaltar detalles y bordes, haciendo más fácil su interpretación posterior.

A raíz de la colaboración entre dos grupos de investigación de la Universidad de Cantabria en este campo, surgió una versión preliminar del software documentado en [1-3], el cual ha sido tomado como punto de partida para el desarrollo de la nueva herramienta aquí presentada. Se ha mejorado su interfaz gráfica, además de añadir nuevos tipos

de filtrado y procesamiento de imagen, para finalmente desarrollar un mecanismo semiautomático de detección de objetos sumergidos fabricados por el hombre. Las herramientas e instrumentación hardware para la obtención de estos datos se omiten en esta comunicación debido a estar descritas en profundidad [4-5].

Las imágenes sonar obtenidas por estos mecanismos de detección remota se obtienen en color, si bien es cierto que es un color generado artificialmente por el software de control del sonar de barrido lateral proporcionado por la empresa fabricante del equipo (en nuestro caso Tritech). El color facilita que el ojo humano visualice mejor los detalles y por este motivo en este trabajo se ha empleado una paleta de color en vez de una paleta monocromática.

Generalmente, el software de procesamiento de imágenes en color actúa por separado sobre un espacio de color tipo RGB (rojo, verde, azul) puesto que la inmensa mayoría de los equipos que capturan imágenes en color trabajan con el citado espacio de color, digitalizando cada una de las capas por separado tal como se muestra en la figura 1.

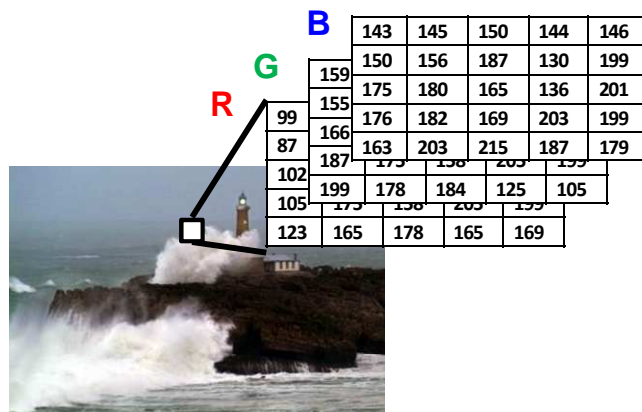


Fig. 1. Procesado de una imagen en color utilizando las tres capas RGB.

El espacio de color RGB se compone de tres capas básicas de colores: la capa roja R, la capa verde G y la capa azul B. Dado que cada capa se procesa por separado con una profundidad de 8 bits (256 niveles), el tiempo de proceso se suele multiplicar por 3 para el mismo tipo de procesamiento si se compara con una imagen monocroma en escala de grises (256 niveles de gris) o con la capa Y de luminancia de una imagen en color en el espacio YC_bC_r . En el espacio de color YC_bC_r , la capa Y contiene la información monocromática de la imagen (al igual que la imagen de una fotografía en B/N), la capa C_b corresponde a la crominancia del azul y contiene la diferencia de las señales azul y amarilla y por último la capa C_r llamada crominancia del rojo contiene la diferencia de las señales roja y amarilla.

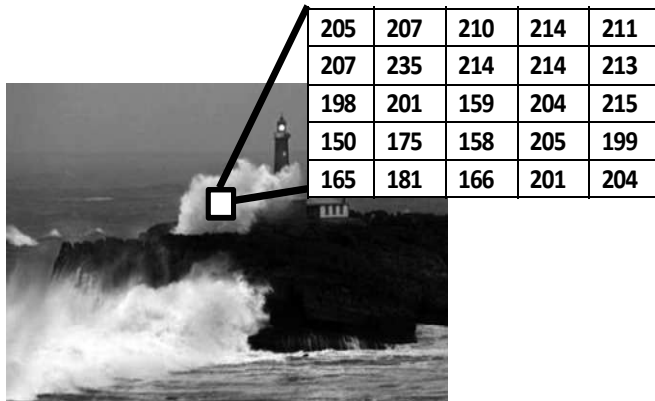


Fig. 1. Procesado de la capa “Y” (monocromática) de una imagen en color tras ser convertida del espacio RGB al espacio YC_bC_r .

Actuando únicamente sobre la capa Y, dejando las capas C_b y C_r sin procesar, se obtiene un resultado similar al que se conseguiría en una imagen RGB estándar procesando cada una de sus capas por separado pero en un tiempo tres veces inferior. Por esta razón y porque las componentes de color no aportan información adicional en cuanto a la resolución de las imágenes, en la nueva versión del software de procesamiento *ImageEasySonar* presentada en este trabajo, los autores se han decantado por proceder a la utilización del espacio de color YC_bC_r , en vez del RGB para las imágenes procedentes del sonar de barrido lateral. No obstante, el programa permite que el usuario seleccione el espacio de trabajo RGB, o en escala de grises, si lo estima oportuno.

La profundidad de color empleada en las imágenes es de 24 bits (8 bits por capa), y éstas son exportadas directamente de los datos obtenidos por el programa de control del sonar de barrido lateral suministrado por el fabricante y almacenadas en un formato sin pérdidas por compresión, más concretamente el formato TIFF. De este modo se mantiene la calidad de la imagen original tal y como es adquirida con el equipo de detección remota.

La programación de la aplicación se ha realizado bajo un entorno MATLAB, debido en parte a que facilita la obtención de un código simple y modificable por otros programadores dada la cantidad de documentación al respecto. También se ha empleado este entorno por ofrecer la herramienta GUIDE, que proporciona herramientas para la creación de interfaces de usuario (GUI) la cual se ha empleado con el fin de conseguir un entorno sencillo y amigable para el usuario bajo la filosofía “friendly user”.

Se ha generado un ejecutable para entornos Windows con el fin de ampliar la difusión del programa, tanto para

máquinas que empleen código de 32 bits, como para aquellas que lo utilicen de 64 bits.

II. FILTROS DIGITALES IMPLEMENTADOS EN WINEASYSONAR

Con motivo de facilitar la detección de objetos presentes en imágenes acústicas, es posible realizar un procesamiento previo a estas imágenes en las que los objetos no estén claramente definidos a causa generalmente del ruido que presentan. La versión anterior del software *WinEasySonar* desarrollado por nuestro grupo [1] contaba con 17 tipos de filtros de naturaleza no lineal, como por ejemplo los filtros CS (*Compare and Selection*), WMMR-MED (*Weighted Majority of M values with Minimum Range*), Volterra y EDGE. Para todos ellos se ha optimizado el tratamiento del color, y concretamente para los dos primeros, se da la posibilidad de seleccionar tanto el tipo como el tamaño de la ventana de procesamiento, consiguiendo de este modo diferentes resultados dependiendo de la imagen a procesar. Las expresiones matemáticas de estos filtros se hayan extensamente representadas en la literatura [6-10] de modo que se omiten por brevedad en la presente comunicación. En la presente versión no sólo se han implementado las técnicas mencionadas anteriormente, sino que además se ha añadido el filtro LUM (*Lower-Upper-Middle*), un filtro selector de rangos que permite lograr además del suavizado de la imagen, una mejora en los bordes y los detalles. Esto se consigue mediante la variación de dos parámetros que influyen directamente en el rango de la salida. Las funcionalidades y expresiones matemáticas que describen el comportamiento del mismo están ampliamente detalladas en la literatura [12].

III. DETECCIÓN DE OBJETOS HECHOS POR EL HOMBRE

Quizás la novedad más importante implementada en la versión del software de procesamiento aquí presentada, reside en la detección semiautomática de objetos sumergidos fabricados por la mano del hombre. La detección de este tipo de objetos en imágenes realizadas por sonares, se considera crucial dada la cantidad de aplicaciones que puede tener, desde la localización de pecios hasta la colaboración en tareas de salvamento de vehículos submarinos tripulados.

El proceso de detección cuenta con dos partes diferenciadas. La primera parte consiste en una segmentación, en la cual se subdivide una imagen en los distintos objetos o regiones que la forman. La segunda parte es una evaluación de los objetos que por su estructura pueden englobarse como objetos creados por el hombre. En las imágenes sonar, los objetos de interés buscados aparecen como regiones iluminadas sobre otras regiones más oscuras, o viceversa. Por lo tanto, en la segmentación se deben separar estos dos tipos de regiones del resto. Para proceder a la realización de este proceso de separación se ha utilizado un método basado en umbrales. Teniendo en cuenta que las imágenes en este punto se procesan en escala de grises (o la capa Y de una imagen en color), con una profundidad de 8 bits (256 intensidades de gris) y atendiendo a las numerosas pruebas realizadas, con imágenes de diferente calidad, se ha llegado a la conclusión de considerar como píxeles iluminados aquéllos cuya intensidad sea superior al nivel 192 de 256, y como píxeles pertenecientes a una zona de sombra aquéllos cuya intensidad sea inferior al nivel 64. De todas

formas, el programa permite que el usuario ajuste estos umbrales mediante una barra deslizante que varía de 0 a 255. El ajuste manual se hará dependiendo de la iluminación de la imagen y de la experiencia que tenga el usuario. Una vez realizada esta segmentación, se procede a obtener los rasgos y características de cada uno de los componentes con el fin de detectar su origen.

Los objetos hechos por el hombre, como ha propuesto Ling [13], tienen por lo general las siguientes características:

- a) Poseen un cierto tamaño. Si un objeto es muy grande o muy pequeño, probablemente se trate de rocas o de ruido, por tanto, se pueden descartar estas regiones.
- b) La intensidad del objeto difiere de la de su fondo.
- c) Poseen un pequeño número de agujeros. Las regiones con más de dos agujeros serán descartadas.
- d) Poseen un contorno regular. Los objetos hechos por el hombre tienden a tener contornos regulares y/o simétricos.

Dichas características se han tenido en cuenta en el programa a la hora de reconocer objetos realizados por el hombre.

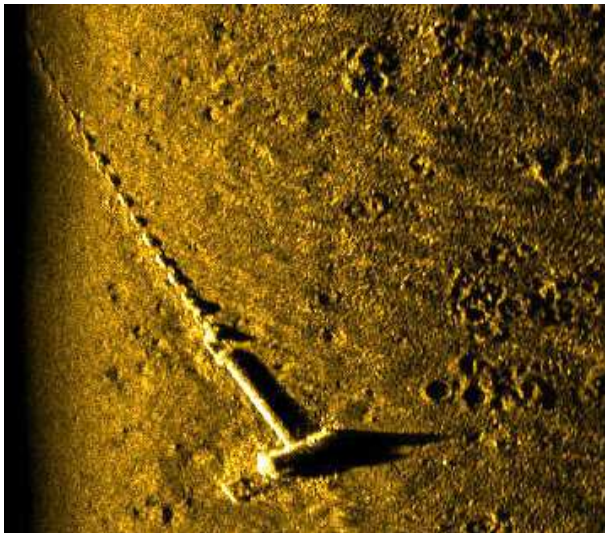


Fig. 3. Ancla Sumergida

A modo de ejemplo ilustrativo de cómo opera el software desarrollado, se muestra la detección de un ancla sumergida cuya imagen sonar sin procesar se muestra en la figura 3, y los resultados para diferentes umbrales de separación de regiones utilizados en el algoritmo de detección de objetos hechos por el hombre en las figuras 4, 5 y 6. No es necesario aplicar un pre-procesado a la imagen de la figura 1, debido a que los bordes y los detalles de la imagen se aprecian con claridad. En las figuras 4, 5 y 6 recuadrado en **AZUL** están identificados los objetos que se han detectado como posibles objetos realizados por el hombre para los diversos umbrales, mientras que recuadrado en **VERDE** están las sombras de esos objetos. En la figura 4, con los umbrales estándar que se han definido, se obtienen unos resultados satisfactorios, localizando adecuadamente las sombras del objeto e identificando el ancla. En la figura 5, se han acercado los niveles umbrales hacia los valores extremos, y debido a ello disminuye el número de positivos. Esto puede ser muy útil para eliminar falsos positivos, aunque se corre el riesgo de perder información importante.

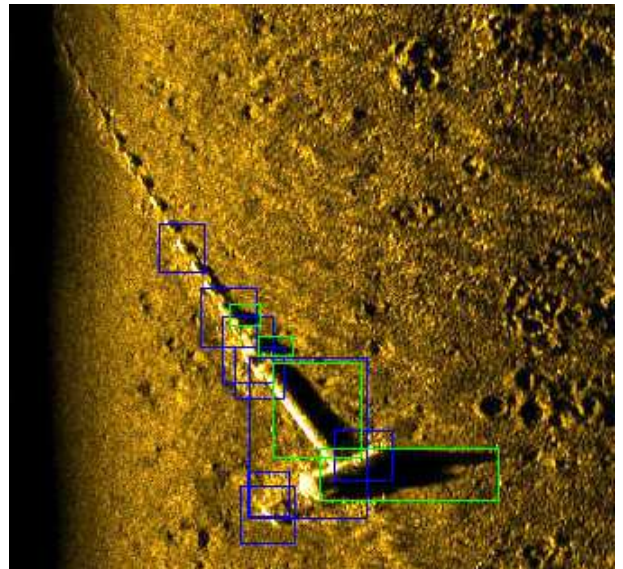


Fig. 4. Ancla con los umbrales de detección estándar.

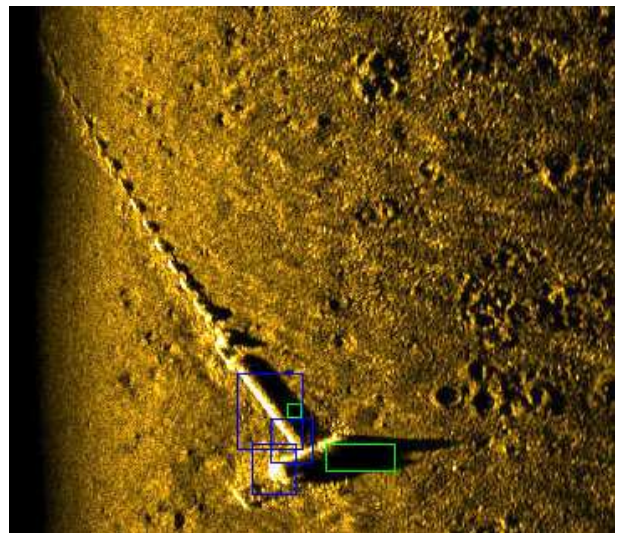


Fig. 5. Ancla detectada con umbrales de 22 y 228

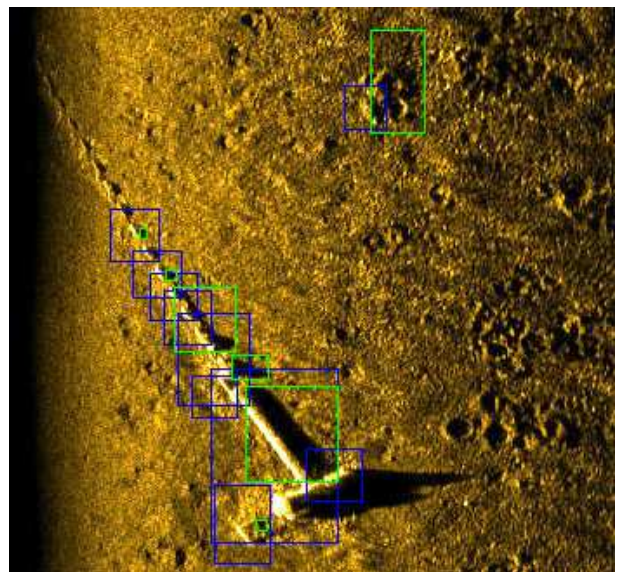


Fig. 6. Ancla detectada con umbrales de 84 y 173

También puede resultar beneficioso en imágenes que se presenten con tonos pronunciados de luminosidad y de sombras. Por el contrario, en la figura 6 al acercar el nivel umbral de detección al valor medio, aumenta el número de objetos y de sombras localizadas, pero se obtienen varios errores o “falsos positivos” en la detección, como es el caso de los cráteres del fondo de la figura que son identificados como objetos hechos por el hombre.

Actualmente el sistema requiere la supervisión humana, con el fin de detectar los pequeños errores que pudieran darse y por tanto, el proceso es semiautomático. En el futuro se pretende su implementación en tiempo real, debido a que la duración del proceso es reducida en comparación con el tiempo que tarda un sonar de barrido lateral en tomar una imagen de un área del fondo, de este modo, sus posibles aplicaciones se verían incrementadas sustancialmente.

Para la ejecución de esta aplicación se ha utilizado un ordenador personal con las siguientes características técnicas:

- a) Procesador Pentium Dual-Core a 2.2 GHz y 4GB de memoria RAM.
- b) Sistema operativo Microsoft Windows 7 Professional.
- c) MATLAB versión 7.10.0 (R2010a)

El uso de la CPU en reposo se sitúa en torno a un 5%, aumentando hasta aproximadamente un 50% en la ejecución de algún filtrado. El programa cargado en la memoria RAM ocupa aproximadamente unos 150 MB de dicha memoria. Además, se ha implementado en el programa una herramienta de comparación, como se puede ver en la figura 7, la cual resulta de interés a la hora de cotejar las imágenes originales con las imágenes procesadas. Esta herramienta cuenta con un zoom que permite ampliar áreas determinadas, las cuales desde una visión panorámica de la imagen no podrían ser analizadas en detalle.

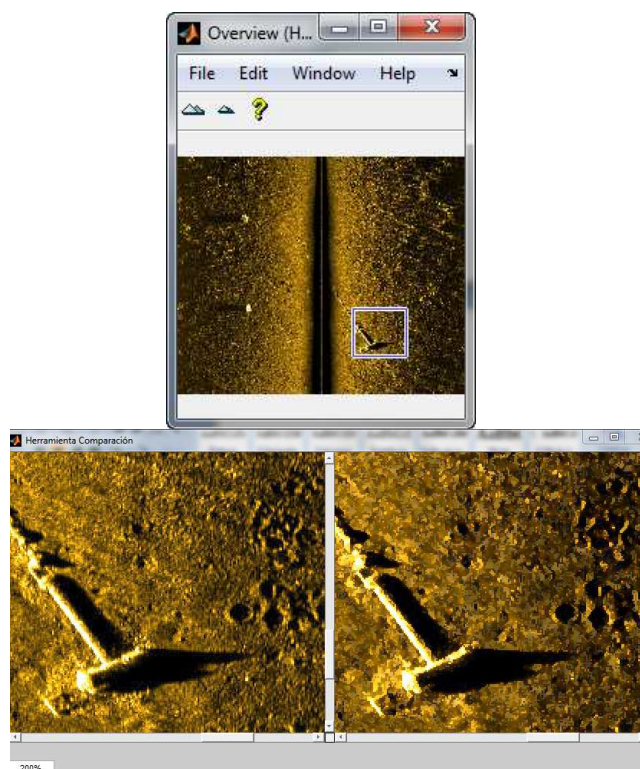


Fig. 7. Herramienta de comparación

V. CONCLUSIONES

Se ha potenciado una aplicación software para el procesamiento de imágenes obtenidas mediante un sonar de barrido lateral añadiendo mejoras en la interfaz de usuario, así como nuevas funcionalidades en relación con las técnicas de filtrado y una herramienta de detección de objetos sumergidos fabricados por el hombre. Además se ha completado el desarrollo de una aplicación software que permite procesar las imágenes de un sonar de barrido lateral de un modo “inteligente” mediante la utilización de técnicas de post-procesado digital de señal. El interfaz es de aspecto agradable, de uso intuitivo y ha sido programado bajo la filosofía “user-friendly”, por lo cual es muy adecuado para ser utilizado por usuarios de cualquier nivel. Los buenos resultados obtenidos refuerzan la idea de posibles futuras líneas de investigación en este ámbito.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren mostrar su agradecimiento a los Servicios Científico-Técnicos de Investigación (SCTI) de la Universidad de Cantabria dependientes del Vicerrectorado de Investigación y Transferencia del Conocimiento, así como al Gobierno de Cantabria por el soporte logístico y económico sin el cual este trabajo no hubiese podido ser realizado.

REFERENCIAS

- [1] J. M. Zamanillo, R. Gonzalez, I. Zamanillo, F. J. Velasco. *Software de procesamiento de imágenes procedentes de un sonar de barrido lateral en exploración submarina*. XXV Symposium de la Unión Científica Internacional de Radio, CD-ROM de actas URSI 2010 Bilbao Septiembre de 2010.
- [2] I. Zamanillo, J. M. Zamanillo, E. Revestido, F. J. Velasco. *Image Easy Sonar: Software para el procesamiento digital de imágenes sonar con aplicaciones docentes*. XXV Symposium de la Unión Científica Internacional de Radio, CD-ROM de actas URSI 2010 Bilbao Septiembre de 2010.
- [3] J. M. Zamanillo, I. Zamanillo, E. Revestido, F. J. Velasco. *Sidescan sonar imagery processing software for underwater research*. Proceedings of the IEEE Oceanic Engineering Society OCEANS'11 Santander June 2011. *Aceptado para publicación*.
- [4] J. M. Zamanillo, I. Zamanillo, E. Revestido, F. J. Velasco. *Sidescan sonar imagery processing software for underwater research and education purposes*. Journal of Maritime Research Volume 8, Number 3. 2011. ISSN: 1697-4840. *Aceptado para publicación*.
- [5] J. González Calderón. Detección y procesamiento en imágenes captadas por sensores remotos. Proyecto fin de máster, Universidad de Cantabria. 2010.
- [6] J.C. Russ The Image Processing Handbook. 5th Edition. CRC Press ISBN 0-8493-7254-2.
- [7] M. Corinthis Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB. CRC Press ISBN 978-14200-9048-2.
- [8] Canny, John, *A Computational Approach to Edge Detection*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8, No. 6, 1986, pp. 679-698.
- [9] Lim, Jae S., *Two-Dimensional Signal and Image Processing*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1990, pp. 478-488.
- [10] A.D. Poularikas and Z.M. Ramadan, *Adaptive Filtering Primer with MATLAB*. Taylor & Francis. CRC Press ISBN 0-8493-7043-4.
- [11] Parker, James R., *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, New York, John Wiley & Sons, Inc., 1997, pp. 23-29.
- [12] Hardie, R.C. and Boncelet, C., *LUM filters: a class of rank-order-based filters for smoothing and sharpening*, Signal Processing, IEEE Transactions on 41 (3), 1061-1076 (1993).
- [13] Ai Ling Chew, Poh Bee Tong and Chin Swee Chia. *Automatic detection and classification of Man-made targets in side scan sonar images*, Underwater Technology and Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies, 2007.